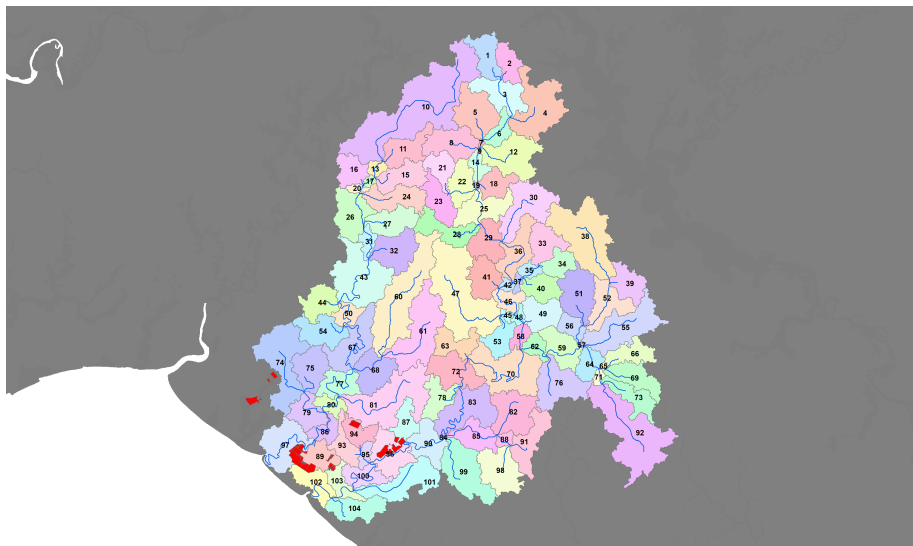


LAPORAN STUDI HIDROLOGI

Cetak Sawah Rakyat (CSR) di Merauke



Institut Pertanian Bogor



Bogor
Mei 2025

LAPORAN STUDI HIDROLOGI

Cetak Sawah Rakyat (CSR) di Merauke

oleh:
Yuli Suharnoto

Institut Pertanian Bogor



Bogor
Mei 2025

Kata Pengantar

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga laporan kajian **Hidrologi** ini dapat diselesaikan sebagai bagian dari kegiatan **Survei, Investigasi, dan Desain (SID)** untuk mendukung Program **Cetak Sawah Rakyat (CSR)** di Kabupaten Merauke.

Laporan ini disusun untuk memberikan dasar ilmiah dan teknis terkait aspek ketersediaan dan pengelolaan sumber daya air pada wilayah perencanaan. Kajian ini mencakup analisis pola curah hujan, potensi debit sungai, keseimbangan air, hingga rekomendasi strategis dalam pengelolaan air permukaan dan irigasi alternatif. Harapannya, hasil kajian ini dapat menjadi acuan dalam menyusun desain teknis infrastruktur air serta perencanaan musim tanam yang adaptif terhadap kondisi iklim lokal.

Kami menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, data, dan kontribusi dalam pelaksanaan kegiatan ini, khususnya kepada:

- Pemerintah Daerah Kabupaten Merauke
- Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS)
- Badan Informasi Geospasial (BIG)
- Tim teknis, akademisi, serta masyarakat setempat yang telah berpartisipasi aktif dalam proses survei dan validasi data lapangan.

Kami menyadari bahwa laporan ini masih memiliki keterbatasan dan ruang untuk penyempurnaan. Oleh karena itu, masukan dan kritik yang membangun sangat kami harapkan untuk perbaikan di masa mendatang.

Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dalam perencanaan pembangunan pertanian berkelanjutan di wilayah timur Indonesia, serta menjadi bagian dari kontribusi nyata dalam mewujudkan ketahanan pangan nasional.

Bogor, Mei 2025
Ahli Hidrologi

Yuli Suharnoto

Daftar Isi

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Pendahuluan | 1 |
| 1.1 | Latar Belakang | 1 |
| 1.2 | Tujuan | 1 |
| 1.3 | Ruang Lingkup | 2 |
| 2 | METODE | 3 |
| 2.1 | Lokasi Studi | 3 |
| 2.2 | Alat dan Bahan | 5 |
| 2.3 | Model SWAT | 6 |
| 2.3.1 | Evapotranspiration Potensial | 8 |
| 2.3.2 | <i>Surface Run off</i> / Limpasan Permukaan (Qsurf) | 9 |
| 2.3.3 | <i>Seepage</i> / Rembesan (Wseep) | 10 |
| 2.3.4 | <i>Lateral Flow</i> (QLat) | 11 |
| 2.3.5 | Return Flow atau Groundwater flow (Qgw) | 12 |
| 2.3.6 | Penguapan dari groundwater (Wrevap) | 12 |
| 3 | Bab Hasil dan Pembahasan | 14 |
| 3.1 | Analisis Pola Curah Hujan dan Kesesuaian Lahan Sawah Tadah Hujan | 14 |
| 3.2 | Potensi dan Fluktuasi Debit Air Permukaan | 19 |
| 3.3 | Keseimbangan Air: Presipitasi vs Evapotranspirasi | 21 |
| 3.4 | Rekomendasi Strategi Pengelolaan Air | 22 |
| 4 | Kesimpulan | 24 |
| 5 | Saran dan Tindak Lanjut | 26 |
| 5.1 | Saran | 26 |
| 5.2 | Tindak Lanjut yang Direkomendasikan | 27 |
| 5.3 | Roadmap Implementasi Kajian Hidrologi untuk Mendukung CSR | 28 |
| 5.4 | Matriks Prioritas Kegiatan Tindak Lanjut | 29 |

Daftar Gambar

| | | |
|-----|---|----|
| 2.1 | DAS Kumbe (kiri) dan DAS Maro (kanan) | 4 |
| 2.2 | <i>AOI (Area of Interest)</i> Rencana Cetak Sawah Rakyat (CSR). . . | 5 |
| 2.3 | Skema model hidrologi SWAT (sumber: modifikasi dari Neitsch <i>et al.</i> , 2005) | 7 |
| 3.1 | Isohyet Tahunan Lokasi Studi (diolah dari <i>CHIRPS Daily Preci- pitation</i> 1981-2024) | 15 |
| 3.2 | Isohyet Bulanan Lokasi Studi (diolah dari <i>CHIRPS Daily Preci- pitation</i> 1981-2024) | 16 |
| 3.3 | Rata-rata Curah Hujan Bulanan selama 3 bulan berturut-turut . | 17 |
| 3.4 | Coefficient of Variation untuk Rata-rata Curah Hujan Bulanan selama 3 bulan berturut-turut | 18 |
| 3.5 | Sebaran Kesesuaian Sawah Tadah Hujan | 19 |
| 3.6 | Fluktuasi debit di SubDas 86 | 20 |
| 3.7 | Fluktuasi debit di SubDas 90 | 20 |
| 3.8 | Perbedaan Presipitasi dan Evapotranspirasi Aktual di SubDas 86 | 21 |
| 3.9 | Perbedaan Presipitasi dan Evapotranspirasi Aktual di SubDas 90 | 22 |

Daftar Tabel

| | | |
|-----|--|---|
| 2.1 | Data spasial yang digunakan pada kajian SWAT | 6 |
|-----|--|---|

Chapter 1

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Program **Cetak Sawah Rakyat (CSR)** merupakan bagian dari upaya strategis pemerintah untuk meningkatkan ketahanan pangan nasional melalui perluasan lahan pertanian, khususnya di kawasan potensial seperti Kabupaten Merauke. Kabupaten ini dikenal memiliki cadangan lahan luas, namun keberhasilan program CSR sangat bergantung pada ketersediaan dan kelayakan sumber daya air, baik dari hujan maupun dari sungai dan airtanah.

Dalam rangka memastikan keberlanjutan sistem pertanian dan mendukung proses perencanaan teknis secara komprehensif, dilakukan kegiatan **Survei, Investigasi, dan Desain (SID)**. Salah satu aspek krusial dalam SID ini adalah kajian hidrologi, yang mencakup analisis curah hujan, debit sungai, evapotranspirasi, dan potensi ketersediaan air untuk mendukung pertanian tadah hujan maupun irigasi.

1.2 Tujuan

Studi hidrologi ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis pola curah hujan dan variabilitasnya sepanjang tahun untuk menentukan kesesuaian lahan sebagai sawah tadah hujan.
2. Mengidentifikasi potensi dan fluktuasi debit air permukaan dari sungai-sungai utama yang melintasi kawasan studi.
3. Mengkaji keseimbangan air melalui perbandingan antara presipitasi dan evapotranspirasi sebagai dasar pertimbangan ancaman kekeringan maupun genangan.
4. Menyusun rekomendasi awal terhadap strategi pengelolaan air yang diperlukan untuk menunjang keberhasilan program CSR, termasuk kebutuhan irigasi alternatif.

1.3 Ruang Lingkup

Studi hidrologi ini mencakup wilayah **Area of Interest (AOI)** dari program CSR di Kabupaten Merauke yang berada di dalam dua Daerah Aliran Sungai (DAS), yaitu DAS Kumbe dan DAS Maro. Analisis dilakukan berdasarkan data historis curah hujan (1981–2024) dari CHIRPS, serta hasil simulasi debit menggunakan model hidrologi SWAT. Evaluasi terhadap kondisi air juga mempertimbangkan isu pasang surut dan intrusi air laut, yang menjadi karakteristik penting kawasan pesisir.

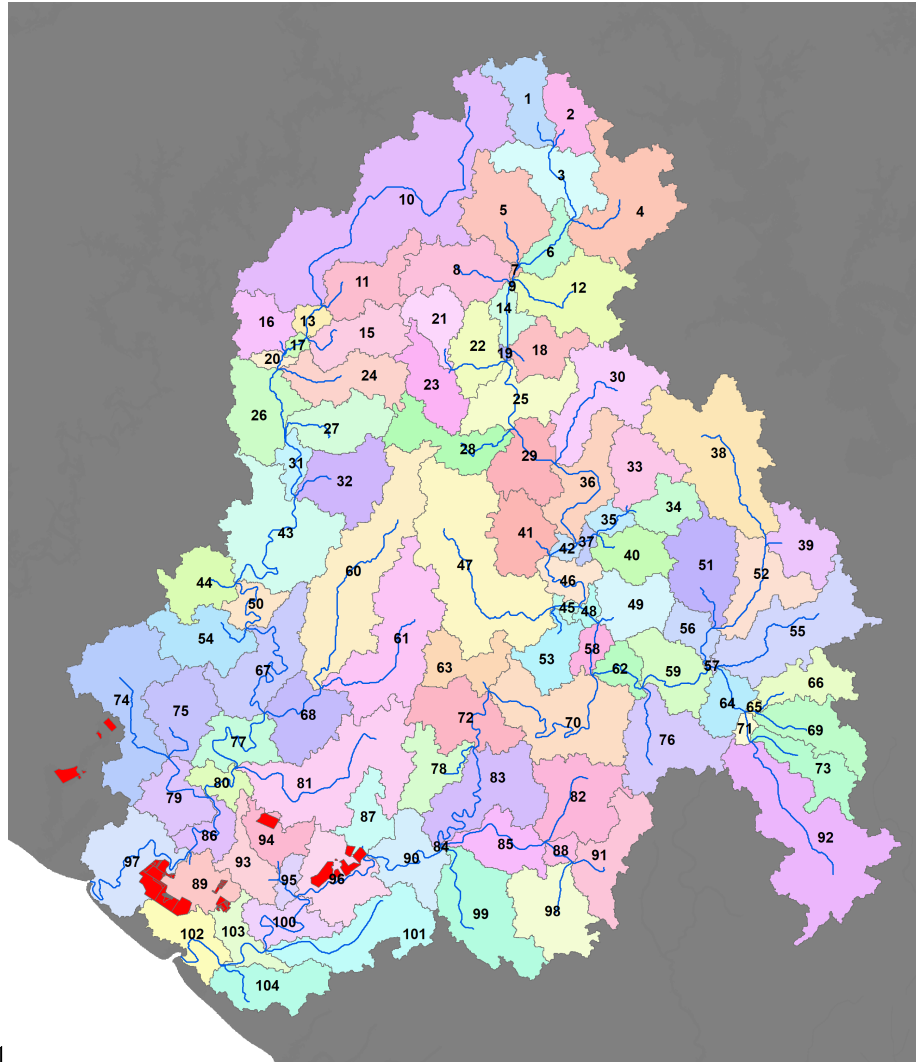
Bab 2

METODE

2.1 Lokasi Studi

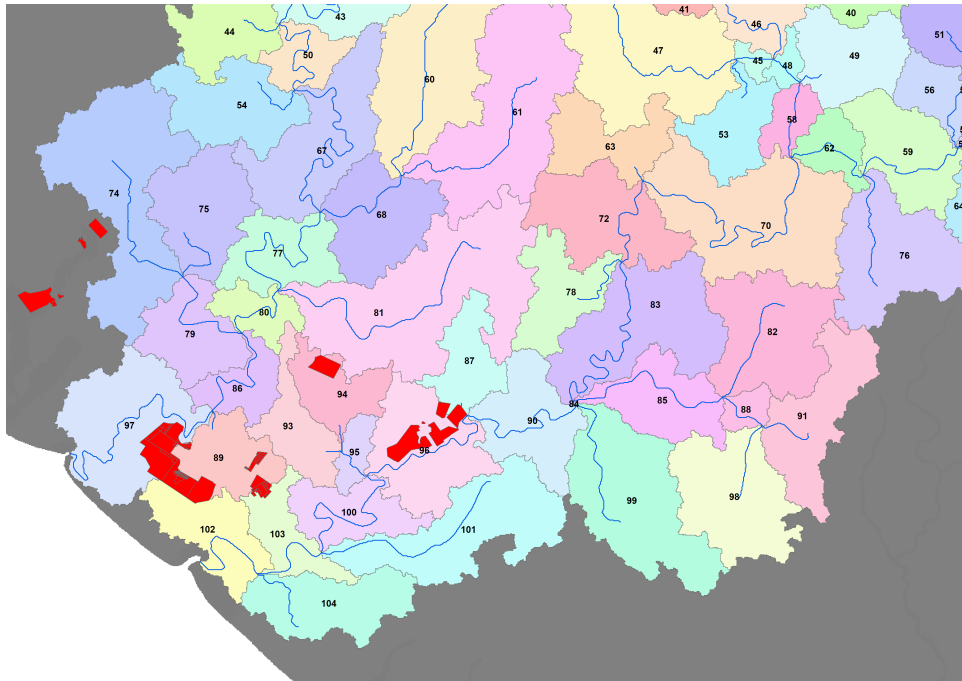
Rencana Program Cetak Sawah Rakyat (CSR) di Kabupaten Merauke terletak di dalam dua wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS), yaitu DAS Kumbe dan DAS Maro. Lokasi studi ditunjukkan pada Figure 2.1 dan Figure 2.2. Area yang diidentifikasi untuk pengembangan CSR digambarkan sebagai poligon berwarna merah yang disebut Area of Interest (AOI).

Tabel



2.1

Gambar 2.1: DAS Kumbe (kiri) dan DAS Maro (kanan)



Gambar 2.2: *AOI (Area of Interest) Rencana Cetak Sawah Rakyat (CSR).*

Secara umum lokasi lahan cetak sawah rakyat berada di bagian hilir Daerah Aliran Sungai (DAS) Kumbe dan DAS Maro yang merupakan wilayah kerja BPDAS Mamberamo di Provinsi Papua Selatan. DAS Kumbe meliputi areal seluas 47.932 Ha dengan panjang sungai 242 km dan lebar sungai 97 - 700 m. DAS Maro yang sebagian kecil wilayahnya masuk Papua Nugini meliputi areal seluas 47.000 Ha dengan panjang sungai 207 Km dan memiliki lebar sungai 48 - 900 m. Sungai Kumbe mengalir dari daerah hulu di Distrik Ulilin dan bermuara di daerah hilir Distrik Malind. Sungai Maro mengalir dari daerah hulu di Distrik Ulilin dan bermuara di daerah hilir Distrik Merauke.

2.2 Alat dan Bahan

Analisa hidrologi dalam studi ini dilakukan menggunakan perangkat lunak SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Pemodelan ini memanfaatkan data spasial dan non-spasial yang dikumpulkan dari berbagai sumber, sebagaimana dirinci dalam Table 2.1.

Tabel 2.1: Data spasial yang digunakan pada kajian SWAT

| Data Spasial | Tipe Data | Resolusi Spasial | Sumber |
|-------------------------------|-----------|------------------|---|
| Digital Elevation Model (DEM) | Raster | 30 m | SRTM (http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp) |
| Batas administrasi | Polygon | 1:25.000 | Rupa Bumi Indonesia, BIG |
| Jaringan Sungai | Line | 1:25.000 | Rupa Bumi Indonesia, BIG |
| Lokasi stasiun hujan | Point | - | BWS Mamberamo |
| SPAS di Sungai Kumbe dan Maro | Point | - | BWS Mamberamo |
| Tutupan Lahan Tahun 2016/2017 | Polygon | 1: 25.000 | Citra SPOT Tahun 2017, Rupa Bumi Indonesia, BIG |
| Tanah | Polygon | 1: 250.000 | Balit Tanah, Bogor |

2.3 Model SWAT

Model yang digunakan dalam analisis hidrologi ini adalah **SWAT (Soil and Water Assessment Tool)**, yang dikembangkan oleh **USDA-ARS (United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service)**. SWAT merupakan model berbasis proses (process-based) yang mensimulasikan hubungan antara kondisi fisik lahan dengan proses aliran air, erosi, sedimen, dan kualitas air di suatu DAS.

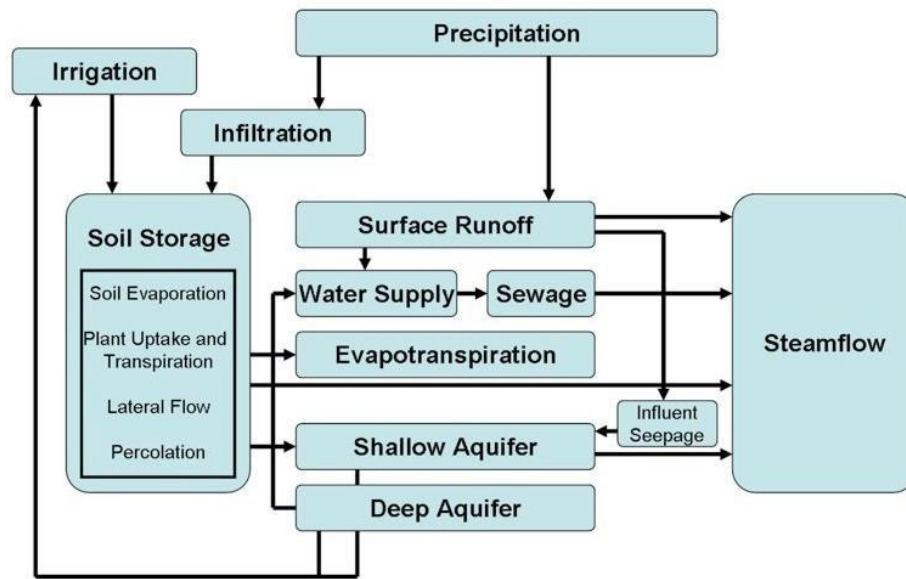
SWAT adalah hasil integrasi dari beberapa model sebelumnya, seperti:

- **CREAMS** (Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems)
- **GLEAMS** (Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems)
- **EPIC** (Environmental Policy Integrated Climate)
- **SWRRB** (Simulator for Water Resources in Rural Basins)

Model ini kemudian diperluas dengan integrasi model QUAL2K untuk distribusi dan transportasi bahan pencemar.

Karakteristik utama SWAT:

- **Berbasis proses fisik:** Model bersifat mekanistik yang menggambarkan aliran air, pergerakan sedimen, pertumbuhan tanaman, dan siklus nutrisi



Gambar 2.3: Skema model hidrologi SWAT (sumber: modifikasi dari Neitsch *et al.*, 2005)

berdasarkan data iklim, tanah, topografi, vegetasi, dan praktik pengelolaan lahan.

- **Skalabilitas dan fleksibilitas:** SWAT mampu digunakan untuk wilayah DAS yang sangat besar dan jangka waktu simulasi yang panjang.
- **Integrasi kualitas air:** SWAT dapat digunakan untuk menilai dampak pengelolaan lahan terhadap kualitas air, termasuk transportasi polutan, limbah pertanian, dan bakteri.

Model SWAT digunakan dalam kajian ini untuk mensimulasikan aliran air permukaan, estimasi potensi debit sungai, serta mengevaluasi kesesuaian lahan untuk pertanian berdasarkan ketersediaan air dan dinamika musim.

Model SWAT, dalam proses simulasinya berbasiskan daerah tangkapan air dengan unit terkecilnya adalah HRU (*Hydrological Response Unit*). HRU bersifat unik sebagai hasil overlay dari data kelerengan lahan, tutupan lahan dan jenis tanah. Secara sederhana skema proses-proses hidrologi seperti aliran air dari atmosfer (presipitasi, evapotraspirasi), dari vegetasi (transpirasi), dari lahan (run off, infiltrasi, perkolasi, evaporasi, *seepage*) dan di sungai (*streamflow*, *baseflow*) disimulasi SWAT (figure 2.3).

Konsep dasar yang diperhitungkan dalam SWAT model adalah neraca air (Neitsch *et al.*, 2002; Luzio *et al.*, 2004). SWAT memperhitungkan neraca air di zona perakaran & vadose zone dan di lapisan akuifer (groundwater). Persamaan neraca air di lapisan perakaran dan vadose zone dirumuskan sebagai berikut:

$$SW_t = SW_{t-1} + Rday_t - (Qsurf_t + Ea_t + Wseep_t + QLat_t) \quad (2.1)$$

Di mana :

- SW_t : Kandungan air tanah pada hari ke-t (mm H₂O)
- SW_{t-1} : Kandungan air tanah awal pada hari ke t-1
- $Rday_t$: Curah hujan harian pada hari ke-t (mm H₂O)
- $Qsurf_t$: Run off pada hari ke -t (mm H₂O)
- Ea_t : Evapotranspirasi aktual pada hari ke -t (mm H₂O)
- $Wseep_t$: Air yang keluar dari lapisan tanah (melalui perkolasi dan bypass flow) pada hari ke -t (mm H₂O)
- $QLat_t$: Total air yang mengalir secara lateral kembali ke sungai pada hari ke-t (mm H₂O)
- t : Waktu dalam hari

Persamaan neraca air di lapisan akuifer (groundwater) dirumuskan sebagai berikut:

$$GW_t = GW_{t-1} + Wseep_t - (Qgw_t + Wrevap_t + Wpump_t) \quad (2.2)$$

Di mana :

- GW_t : Kandungan air tanah pada hari ke-t (mm H₂O)
- GW_{t-1} : Kandungan air tanah awal pada hari ke t-1
- $Wseep_t$: Air yang keluar dari lapisan tanah (melalui perkolasi dan bypass flow) pada hari ke -t (mm H₂O)
- Qgw_t : Return flow / groundwater flow pada hari ke -t (mm H₂O)
- $Wrevap_t$: Evaporasi dari groundwater ke lapisan perakaran pada hari ke-t (mm)
- $Wpump_t$: Evapotranspirasi aktual pada hari ke -t (mm H₂O)
- t : Waktu dalam hari

2.3.1 Evapotranspiration Potensial

Perhitungan Evapotranspiration Potensial menggunakan formula Penman-Monteith-FAO (FAO,1998). Evapotranspirasi potensial merupakan evaporasi maksimum dari Sebuah lahan dengan tanaman hipotetik dengan tinggi tanaman diasumsikan 0.12 m, resistansi permukaan tetap 70 m s⁻¹ dan Albedo 0.23; dengan formula sebagai berikut :

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34u_2)} \quad (2.3)$$

Di mana,

| | |
|-------------|--|
| ET_o | : Evapotranspirasi potensial [mm d^{-1}], |
| R_n | : Radiasi netto [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$], |
| G | : Soil heat flux density [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$], |
| T | : Suhu udara rata-rata di 2 m [$^{\circ}\text{C}$], |
| U_2 | : Kecepatan angin di 2 m [m s^{-1}], |
| e_s | : Tekanan uap air jenuh [kPa], |
| e_a | : Tekanan uap air aktual [kPa], |
| $e_s - e_a$ | : Defisit tekanan uap air jenuh [kPa], |
| Δ | : Slope kurva tekanan uap air [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$], |
| γ | : Konstanta Psychrometric [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$]. |

2.3.2 *Surface Run off* / Limpasan Permukaan (Q_{surf})

Untuk menghitung potensi air permukaan dari run off atau limpasan permukaan menggunakan metode SCS (SCS, 1972; Rallison dan Miller, 1981). Metode ini dikembangkan untuk menghitung jumlah run off pada tutupan lahan dan jenis tanah yang bervariasi. Persamaan run off dengan metode SCS seperti di bawah ini, dimana abstraksi awal (I_a) sebesar $0.2 S$. Limpasan permukaan akan terjadi jika curah hujan (R_{day}) lebih besar dari I_a .

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} - 0.8S)} \quad (2.4)$$

Parameter retensi (S) bervariasi tergantung jenis tanah, penutupan lahan, kelerengan, teknik pengelolaan lahan dan kandungan air tanah. Parameter retensi didefinisikan sebagai berikut:

$$S = 25.4 \left[\frac{1000}{CN} - 10 \right] \quad (2.5)$$

Di mana,

| | |
|------------|---|
| Q_{surf} | : limpasan permukaan (mm) |
| R_{day} | : curah hujan pada satu hari (mm) |
| I_a | : <i>abstraksi</i> awal termasuk simpanan permukaan, intersepsi tajuk dan infiltrasi sebelum terjadi aliran permukaan |
| S | : parameter retensi (mm) |
| CN | : SCS <i>Curve Number</i> |

Limpasan permukaan maksimum (*peak run off*) dihitung dengan memodifikasi metode rasional (*rational method*) dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_{peak} = \frac{(\alpha_{tc} \times Q_{surf} \times \text{Area})}{(3.6 \times t_{conc})} \quad (2.6)$$

Di mana :

| | |
|---------------|--|
| q_{peak} | : laju limpasan permukaan maksimum (m^3/s) |
| α_{tc} | : fraksi curah hujan yang terjadi selama waktu konsentrasi |
| Q_{surf} | : limpasan permukaan (mm) |
| Area | : luas wilayah sub DAS (km^2) |
| t_{conc} | : waktu konsentrasi pada sub DAS (jam) |

Fraksi curah hujan selama waktu konsentrasi (α_{tc}) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\alpha_{tc} = 1 - \exp(2 \times t_{conc.} \times \ln(1 - \alpha_{0.5})) \quad (2.7)$$

Di mana,

$\alpha_{0.5}$: fraksi hujan harian selama setengah jam-an intensitas curah hujan tertinggi

t_{conc} : Waktu konsentrasi

Prosedur untuk menghitung fraksi hujan harian yang jatuh selama setengah jam-an intensitas curah hujan tertinggi ($\alpha_{0.5}$) disajikan dalam pembangkitan data hujan.

Waktu konsentrasi (t_{conc}) adalah jumlah waktu aliran di lahan (*overland flow time* / t_{ov}) dan waktu aliran di sungai (*channel flow time* / t_{ch}):

$$t_{ov} = \frac{L_{slp}^{0.6} \times n^{0.6}}{18 \times slp^{0.3}} \quad \text{dan} \quad t_{ch} = \frac{0.62 \times L \times n^{0.75}}{Area^{0.125} \times slp_{ch}^{0.375}} \quad (2.8)$$

Di mana,

t_{ov} : waktu konsentrasi untuk aliran di lahan (jam)

t_{ch} : waktu konsentrasi untuk aliran di sungai (jam)

L_{slp} : panjang lereng sub DAS (m)

L : rata-rata panjang aliran sungai pada sub DAS (km)

slp : rata-rata lereng di lahan (m/m).

slp_{ch} : rata-rata lereng di sungai (m/m).

N : koefisien kekasaran manning

Pada saat waktu konsentrasi lebih dari 1 hari hal ini menyebabkan tidak semua limpasan permukaan pada hari tersebut akan masuk sungai utama, ada yang tertahan di lahan (mengalami *lag*). SWAT menghitung hal tersebut dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{surf} = \left(Q'_{surf} + Q_{(stor,i-1)} \right) \left[1 - \exp\left(\frac{surlag}{t_{conc}} \right) \right] \quad (2.9)$$

Di mana,

Q_{surf} : jumlah aliran permukaan yang mencapai sungai utama pada satu hari (mm)

Q'_{surf} : jumlah aliran permukaan yang dibangkitkan dalam satu hari (mm)

$Q_{stor,i-1}$: jumlah aliran permukaan yang tersimpan dari hari sebelumnya (mm)

$surlag$: koefisien jeda aliran permukaan

t_{conc} : waktu konsentrasi pada sub DAS (jam)

2.3.3 Seepage / Rembesan (Wseep)

Seepage merupakan jumlah total airtanah yang bergerak secara vertical meninggalkan lapisan tanah melalui perkolasi dan crack flow / bypass flow. Dalam

model SWAT, perkolasi dihitung di setiap lapisan tanah menggunakan analogi *tiping bucket*. Perkolasi akan terjadi jika kandungan airtanah (SW_{ly}) pada lapisan tersebut melebihi kapasitas lapangnya (FC_{ly}). Secara matematika, prosedur tersebut dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} SW_{ly} > FC_{ly} &\Rightarrow SW_{ly,excess} = SW_{ly} - FC_{ly} \\ SW_{ly} &\leq FC_{ly} \Rightarrow SW_{ly,excess} = 0 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Jumlah air yang diperkolasikan ke lapisan yang di bawahnya dihitung dengan metode *storage routing*. Persamaan yang digunakan untuk menghitung jumlah air yang diperkolasikan ke lapisan di bawahnya ($w_{perc,ly}$) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} w_{perc,ly} &= SW_{ly,excess} \left(1 - \exp \left[\frac{-\Delta t}{TT_{perc}} \right] \right) \\ TT_{perc} &= \frac{SAT_{ly} - FC_{ly}}{K_{sat,ly}} \end{aligned} \quad (2.11)$$

di mana:

- $SW_{(ly,excess)}$: Potensi jumlah air yang meninggalkan lapisan tanah ly (mm)
- SAT_{ly} : Jumlah air dalam kondisi jenuh pada lapisan tanah ly (mm)
- $K_{(sat,ly)}$: Konduktifitas hidrolik jenuh pada lapisan tanah ly (mm)
- TT_{perc} : Travel time untuk perkolasi (jam)

Bypass flow hanya terjadi di jenis tanah grumusol / vertisol yang memiliki kandungan liat cukup tinggi. Jenis tanah tersebut biasanya dipergunakan sebagai sawah. Pada saat kering tanah tersebut akan mengalami keretakan (crack). Pada saat terjadi hujan retak-retak di tanah tersebut akan terisi air dan akan meresap ke dalam tanah.

2.3.4 Lateral Flow (QLat)

Lateral flow signifikan di daerah berlereng yang memiliki konduktivitas hidrolik yang tinggi di lapisan permukaan dan di bawahnya terdapat lapisan permeable / semipermeable. Model SWAT menghitung lateral flow berdasarkan model yang dikembangkan oleh Sloan et. al. (1984). Jumlah lateral flow yang sampai di outlet main channel ($QLat_t$) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} QLat'_t &= 0.024 \left(\frac{2 \times SW_{ly,excess} \times K_{sat} \times SLP}{\phi_d \times L_{Hill}} \right) \\ QLat_t &= \left(QLat'_t + QLat_{store,t-1} \right) \left(1 - \exp \left(\left| \frac{-1}{TT_{lag}} \right| \right) \right) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Dimana:

- TT_{lag} : lateral travel time (jam)
- ϕ_d : porositas di lapisan tanah yang dapat di drainase (mm/mm)
- SLP : kelerengan lahan (m/m)
- L_{Hill} : panjang lereng (m)

2.3.5 Return Flow atau Groundwater flow (Qgw)

Air perkolasi dan bypass flow (w_{seep}) dari lapisan tanah selanjutnya memasuki akuifer (groundwater storage). Air yang keluar dari profil tanah ini mengalami delay (δ_{gw}) ketika memasuki akuifer. Lamanya *delay* ini tergantung kepada tinggi *water table* dan karakteristik hidrolik formasi geologi di sekitar lapisan akuifer sehingga jumlah air yang keluar dari profil tanah dengan jumlah air yang memasuki *groundwater storage* berbeda. Venetis (1969) and Sangrey et al. (1984) telah merumuskan jumlah air yang masuk ke *groundwater storage* dari profil tanah ($w_{rchrg,i}$) sebagai berikut:

$$w_{rchrg,i} = w_{rchrg,i-1} \times \exp\left[\frac{1}{\delta_{gw}}\right] + w_{seep} \times \left(1 - \exp\left[\frac{1}{\delta_{gw}}\right]\right) \quad (2.13)$$

dimana δ_{gw} merupakan delay time (hari) karena faktor karakteristik hidrolik formasi geologi di sekitar groundwater zone.

Air yang tertampung dalam *groundwater storage* (GW) akan memberikan kontribusi terhadap aliran sungai sebagai *return flow* / *groundwater flow* jika melebihi nilai ambang spesifik *groundwater storage* untuk mengalirkan *base flow* ($GW_{thr,q}$). Besarnya *groundwater flow* ini sangat tergantung kepada faktor *baseflow recession constant* (α_{gw}). Prosedur untuk menghitung *groundwater flow* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} GW > GW_{thr,q} &\Rightarrow Qgw_i = Qgw_{i-1} \times \exp[-\alpha_{gw}] + W_{rchrg} \times (1 - \exp[-\alpha_{gw}]) \\ GW \leq GW_{thr,q} &\Rightarrow Qgw_i = 0 \end{aligned} \quad (2.14)$$

2.3.6 Penguapan dari groundwater (Wrevap)

Penguapan dari groundwater adalah respon dari water defisiensi di zona perakaran dan vadose zone. Air bergerak ke lapisan tidak jenuh melalui pori-pori kapiler. Jumlah air maksimum yang menguap dari groundwater ($W_{revap,max}$) dihitung oleh model SWAT dengan persamaan berikut:

$$W_{revap,max} = \beta_{rev} \times E_0 \quad (2.15)$$

dimana: β_{rev} : koefisien revap (nilai 0.02 to (numerical range) 0.2) dan E_0 : evapotranspirasi potensial (mm)

Jumlah air aktual (W_{revap}) yang menguap dari groundwater tergantung dari besarnya jumlah groundwater minimal untuk terjadinya revap ($GW_{thr,revap}$). Kondisi yang memungkinkan terjadinya penguapan dari groundwater, sebagai berikut:

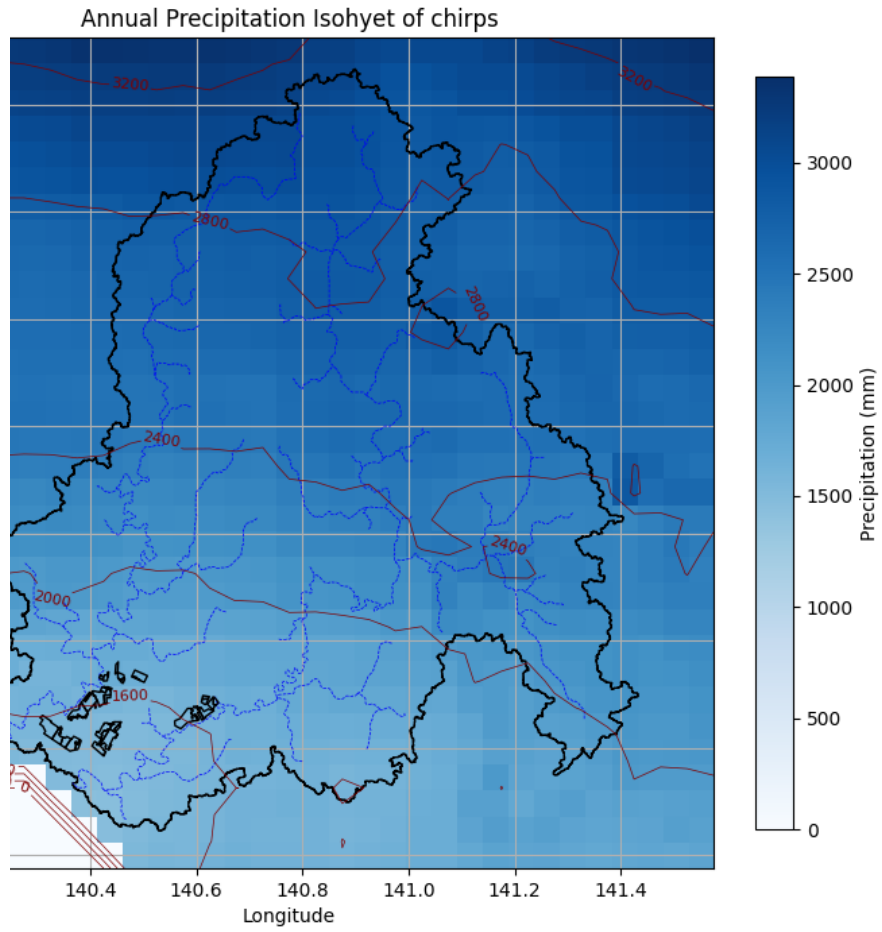
$$\begin{aligned}
GW &\leq GW_{thr,revap} \\
&\Rightarrow W_{revap} = 0 \\
GW_{thr,revap} &< GW < (GW_{thr,revap} + W_{revap,max}) \\
&\Rightarrow W_{revap} = W_{revap,max} - GW_{thr,revap} \\
GW &\geq (GW_{thr,revap} + W_{revap,max}) \\
&\Rightarrow W_{revap} = W_{revap,max} - GW_{thr,revap}
\end{aligned} \tag{2.16}$$

Chapter 3

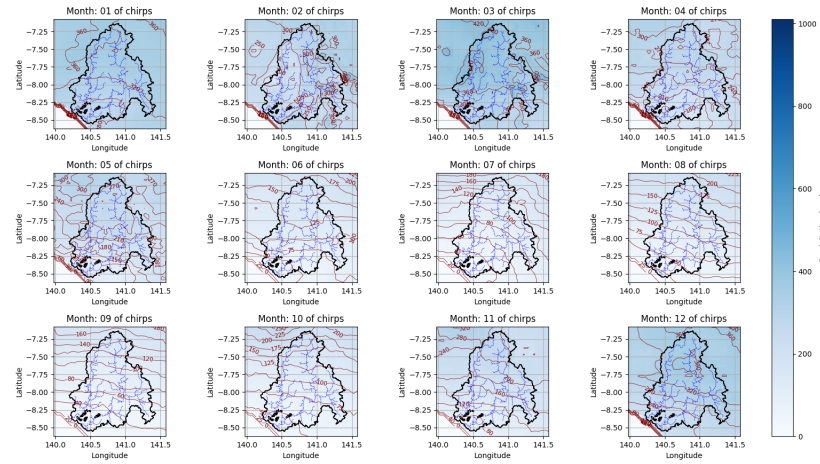
Bab Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Pola Curah Hujan dan Kesesuaian Lahan Sawah Tadah Hujan

Analisis curah hujan tahunan dan bulanan menggunakan data CHIRPS tahun 1981–2024 menunjukkan bahwa lokasi studi memiliki curah hujan tahunan berkisar antara 1.800 mm hingga 3.500 mm. Namun, distribusi bulanan menunjukkan ketimpangan antara musim hujan dan musim kemarau.



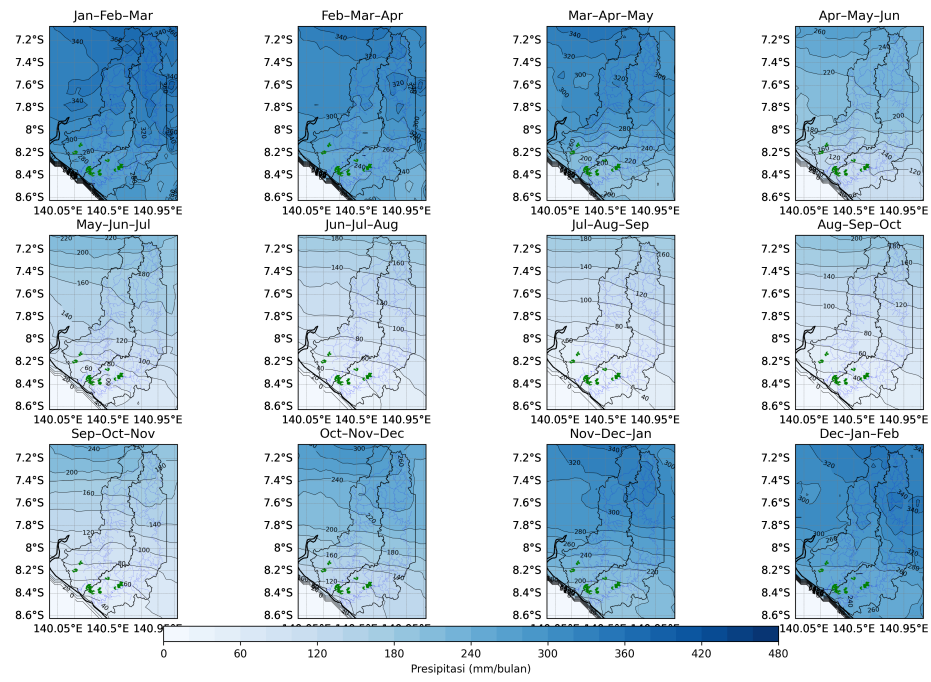
Gambar 3.1: Isohyet Tahunan Lokasi Studi (diolah dari *CHIRPS Daily Precipitation* 1981-2024)



Gambar 3.2: Isohyet Bulanan Lokasi Studi (diolah dari *CHIRPS Daily Precipitation* 1981-2024)

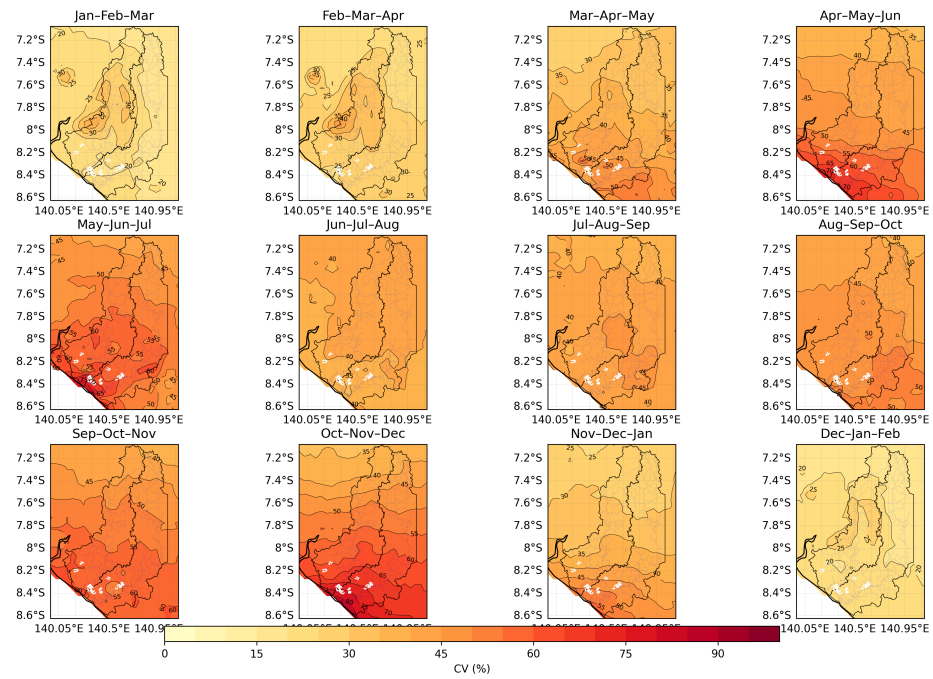
Hasil analisis rata-rata curah hujan 3 bulan berturut-turut (rolling mean) mengindikasikan bahwa periode Oktober hingga Maret (OkMar) memenuhi syarat sebagai musim tanam sawah tadah hujan, di mana curah hujan ≥ 200 mm/bulan dan **Coefficient of Variation (CV)** $< 25\%$. Sebaliknya, pada periode April hingga September (ASep), curah hujan rendah dan bervariasi tinggi, menjadikan lahan tidak sesuai untuk sawah tadah hujan tanpa irigasi tambahan.

Rata-rata Presipitasi per 3 Bulan Berturut-turut



Gambar 3.3: Rata-rata Curah Hujan Bulanan selama 3 bulan berturut-turut

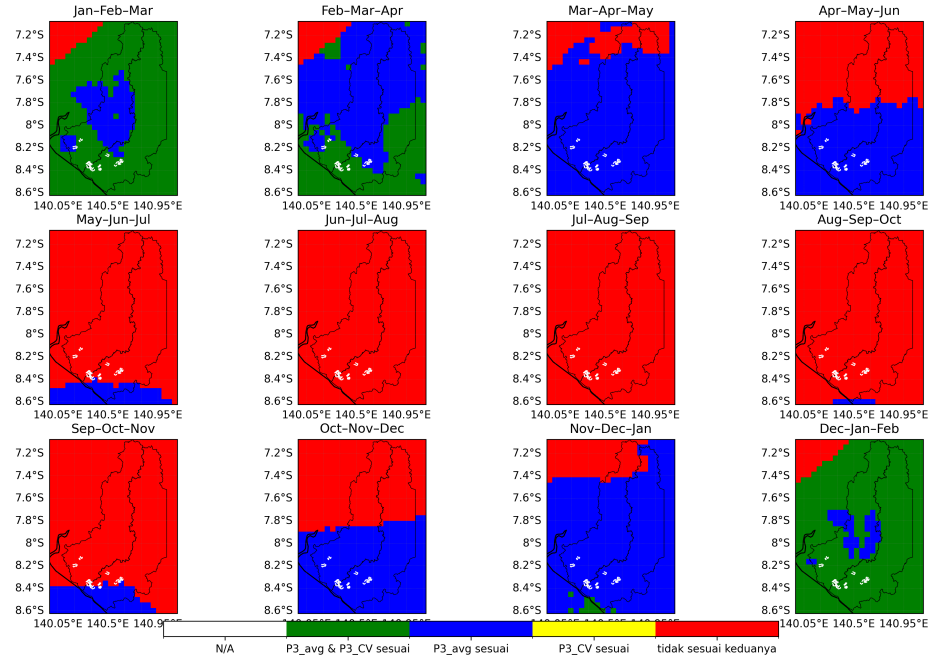
CV Presipitasi per 3 Bulan Berturut-turut (%)



aktual.

Gambar 3.4: Coefficient of Variation untuk Rata-rata Curah Hujan Bulanan selama 3 bulan berturut-turut

Peta Kelayakan Sawah Tadah Hujan

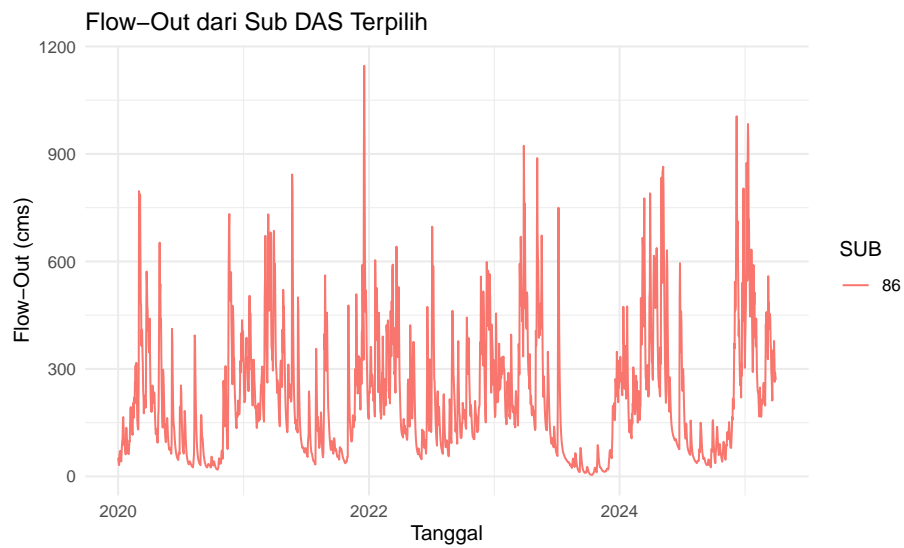


Gambar 3.5: Sebaran Kesesuaian Sawah Tadah Hujan

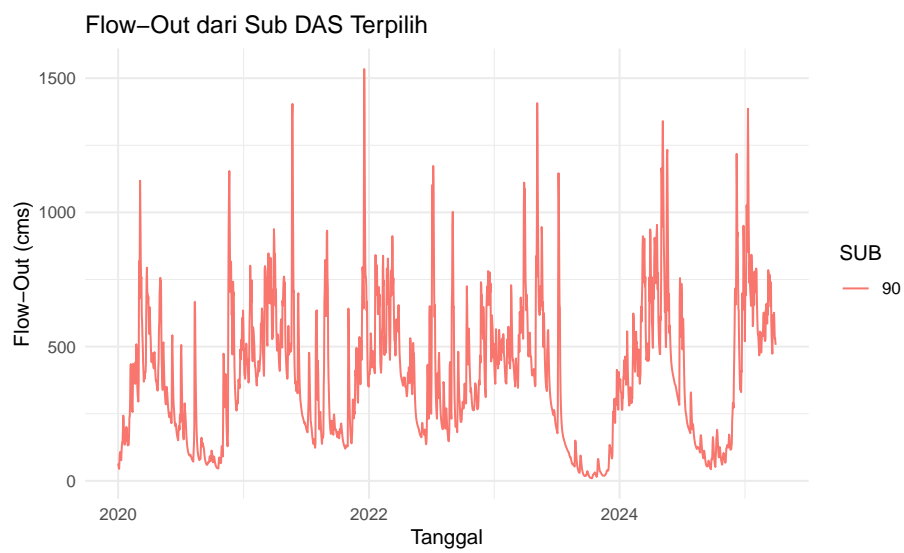
Sebaran spasial kesesuaian lahan mengindikasikan bahwa sebagian besar wilayah pesisir dapat ditanami padi saat musim hujan, tetapi sangat tergantung pada kestabilan awal musim (November–Desember) untuk menghindari kegagalan tanam akibat awal musim hujan yang lambat.

3.2 Potensi dan Fluktuasi Debit Air Permukaan

Pemodelan debit aliran permukaan menggunakan SWAT dilakukan pada dua sub-DAS utama: SubDas 86 (DAS Kumbe) dan SubDas 90 (DAS Maro).



Gambar 3.6: Fluktuasi debit di SubDas 86



Gambar 3.7: Fluktuasi debit di SubDas 90

Hasil simulasi menunjukkan:

- **SubDas 86** memiliki debit maksimum sebesar $1.566 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan debit

rata-rata harian $189 \text{ m}^3/\text{s}$.

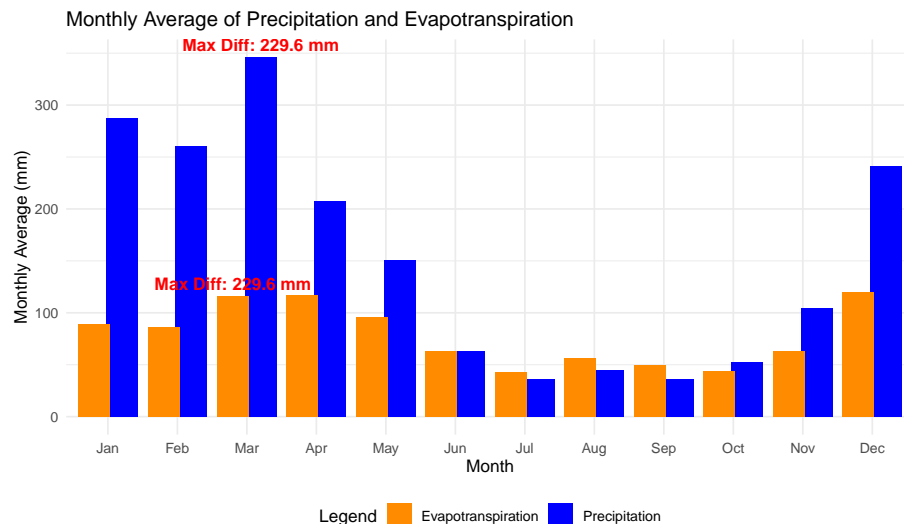
- **SubDas 90** memiliki debit maksimum sebesar $2.596 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan debit rata-rata harian $337 \text{ m}^3/\text{s}$.

Debit aliran mengalami fluktuasi tinggi dengan pola musiman yang konsisten. Debit tinggi terjadi pada bulan Desember hingga Maret, sementara di musim kemarau (Juli–Oktober), debit turun drastis, bahkan mendekati nol. Ini berdampak langsung pada keberlanjutan irigasi dan peningkatan risiko intrusi air laut di muara sungai.

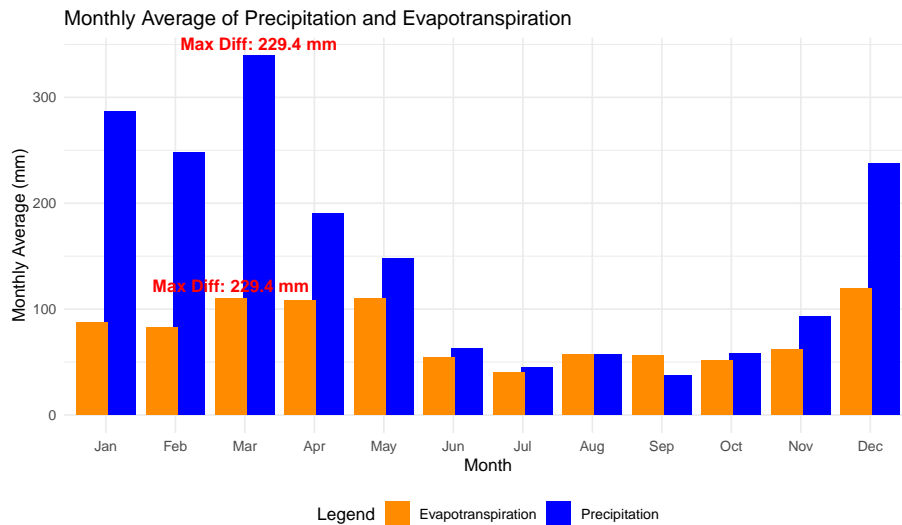
Analisis probabilistik debit untuk berbagai kala ulang (return period) mengonfirmasi bahwa debit besar dengan peluang kecil (return period 10 hingga 50 tahun) dapat menyebabkan banjir pesisir, khususnya ketika bertepatan dengan pasang maksimum.

3.3 Keseimbangan Air: Presipitasi vs Evapotranspirasi

Analisis keseimbangan air dilakukan dengan membandingkan presipitasi dan evapotranspirasi aktual (ETa) secara bulanan.



Gambar 3.8: Perbedaan Presipitasi dan Evapotranspirasi Aktual di SubDas 86



Gambar 3.9: Perbedaan Presipitasi dan Evapotranspirasi Aktual di SubDas 90

Hasilnya menunjukkan bahwa:

- **Surplus air** ($\text{Presipitasi} > \text{ETa}$) terjadi pada bulan Desember hingga Maret, dengan selisih maksimum sekitar 229 mm/bulan.
- **Defisit air** ($\text{ETa} > \text{Presipitasi}$) terjadi pada bulan Mei hingga September, menandakan potensi kekeringan dan kebutuhan irigasi tambahan jika ingin menanam di luar musim hujan.

Kondisi ini menunjukkan pentingnya strategi pengelolaan air untuk menghindari genangan di musim penghujan dan kekeringan di musim kemarau, khususnya pada lahan-lahan berdekatan dengan muara sungai yang juga terdampak pasang surut.

3.4 Rekomendasi Strategi Pengelolaan Air

Berdasarkan hasil analisis di atas, disusun rekomendasi awal sebagai berikut:

1. Penetapan Musim Tanam Tadah Hujan

- Musim tanam ideal adalah Desember–Februari (OkMar) karena curah hujan tinggi dan variabilitas rendah.
- Perlunya penyesuaian kalender tanam mengikuti awal musim hujan agar bibit tidak gagal tumbuh akibat curah hujan yang terlambat.

2. Pengendalian Genangan Musim Hujan

- (a) Dibutuhkan sistem drainase yang memadai untuk mengalirkan debit puncak sungai ke laut secara efisien, termasuk pengaturan pintu air agar tidak tertahan oleh pasang laut.
- (b) Pembangunan **retention pond** atau **polder** pada wilayah yang berisiko tinggi genangan.

3. Kebutuhan Irigasi Tambahan

- (a) Untuk musim tanam kedua (April–September), diperlukan sistem irigasi alternatif. Mengingat debit sungai rendah di musim kemarau, disarankan untuk melakukan studi kelayakan air tanah sebagai sumber irigasi tambahan.
- (b) Pemanfaatan air hujan melalui embung atau kolam retensi juga dapat menjadi solusi lokal.

4. Mitigasi Intrusi Air Laut

- (a) Pengaturan tutupan kanal dan pintu air secara sistematis, serta mempertahankan **groundwater level** pada level aman, terutama di kawasan pesisir.
- (b) Perlunya koordinasi dengan instansi pengelola sumber daya air dan masyarakat setempat dalam pengawasan dan pemeliharaan sistem irigasi dan drainase.

Chapter 4

Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian hidrologi yang dilakukan pada wilayah rencana Cetak Sawah Rakyat (CSR) di Kabupaten Merauke, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Pola Curah Hujan dan Kesesuaian Sawah Tadah Hujan

Lokasi studi memiliki curah hujan tahunan antara 1.800–3.500 mm, dengan distribusi musim hujan terjadi pada bulan Oktober hingga Maret. Analisis 3 bulan berturut-turut menunjukkan bahwa masa tanam optimal untuk sawah tadah hujan adalah antara **Desember hingga Februari**, saat curah hujan stabil dan variabilitas rendah. Di luar periode tersebut, lahan memerlukan pasokan air tambahan.

2. Potensi dan Fluktuasi Debit Air Permukaan

Sungai-sungai utama, yakni SubDas 86 (DAS Maro) dan SubDas 90 (DAS Kumbe), memiliki debit maksimum masing-masing sebesar 1.566 m³/s dan 2.596 m³/s. Debit sangat fluktuatif secara musiman, dengan debit hampir nol di musim kemarau. Kondisi ini menyebabkan dua risiko utama: **genangan di musim hujan** dan **kekeringan serta intrusi air laut di musim kemarau**.

3. Keseimbangan Air

Keseimbangan antara presipitasi dan evapotranspirasi menunjukkan **surplus air** pada musim hujan dan **defisit air** di musim kemarau. Surplus air tanpa pengelolaan yang memadai dapat menyebabkan genangan yang berkepanjangan, sementara defisit air di musim kemarau menghambat ketersediaan air irigasi.

4. Strategi Pengelolaan Air

Keberhasilan program CSR sangat bergantung pada strategi pengelolaan air yang adaptif dan berbasis musim. Rekomendasi awal yang perlu ditindaklanjuti antara lain:

- (a) Penetapan kalender tanam berbasis awal musim hujan.

- (b) Pembangunan dan pengelolaan sistem drainase dan retensi air.
- (c) Kajian lanjutan untuk **irigasi alternatif**, termasuk potensi air tanah dan penampungan air hujan.
- (d) Mitigasi risiko **intrusi air laut** melalui pengaturan muka air tanah dan pengendalian saluran pesisir.

Chapter 5

Saran dan Tindak Lanjut

5.1 Saran

Berdasarkan hasil kajian hidrologi yang telah dilakukan, disampaikan beberapa saran strategis sebagai berikut:

1. **Pemetaan Kesesuaian Lahan Secara Detail**

Perlu dilakukan pemetaan kesesuaian lahan dengan resolusi lebih tinggi berdasarkan kombinasi curah hujan musiman, kapasitas drainase alami, dan elevasi mikro. Hal ini penting untuk menghindari penempatan sawah di zona rawan genangan atau kekeringan.

2. **Perencanaan Drainase Terintegrasi**

Sistem drainase pada kawasan pesisir harus dirancang secara terpadu dengan mempertimbangkan pasang surut, debit sungai puncak, dan kapasitas aliran ke laut. Penggunaan pintu air, tanggul, dan saluran primer-sekunder harus dihitung dengan simulasi hidraulik.

3. **Kajian Potensi Air Tanah**

Mengingat rendahnya debit sungai di musim kemarau, maka studi hidrogeologi lanjutan perlu dilakukan untuk menilai potensi dan keberlanjutan pemanfaatan **air tanah dangkal atau dalam** sebagai sumber irigasi alternatif.

4. **Pemanfaatan Teknologi Pengumpulan Air Hujan**

Pengembangan ***embung***, kolam retensi, dan sistem panen air hujan (rainwater harvesting) perlu dikembangkan untuk memperkuat ketersediaan air lokal, terutama untuk kebutuhan awal tanam dan pengairan lahan kecil.

5. **Keterlibatan Masyarakat dalam Pengelolaan Air**

Sistem pengelolaan air sebaiknya melibatkan kelompok tani dan masyarakat lokal sejak awal, baik dalam perencanaan, pembangunan, maupun pengoperasian infrastruktur air. Pendekatan partisipatif akan meningkatkan keberlanjutan pemanfaatan sumber daya air.

5.2 Tindak Lanjut yang Direkomendasikan

Untuk memastikan keberhasilan implementasi program CSR, kegiatan tindak lanjut berikut ini direkomendasikan:

1. **Studi Topografi Terperinci (DEM Resolusi Tinggi)**

Pemutakhiran model elevasi digital (DEM) dengan resolusi tinggi dan titik kontrol lapangan (GCP) diperlukan untuk mendukung desain saluran irigasi dan drainase.

2. **Model Hidraulik dan Genangan**

Simulasi menggunakan model hidraulik seperti **HEC-RAS 2D** atau **SWMM** dapat digunakan untuk mengevaluasi skenario genangan dan kapasitas pengaliran saluran secara dinamis.

3. **Kajian Sosial-Ekonomi dan Kelembagaan**

Aspek sosial ekonomi, termasuk kemampuan petani, ketersediaan tenaga kerja, dan kelembagaan pengelola air harus dikaji untuk mendukung keberlanjutan sistem pertanian di lahan CSR.

4. **Integrasi dengan Program Pemerintah Lainnya**

Pelaksanaan program CSR perlu disinergikan dengan program kementerian/lembaga lain, seperti Kementerian Pertanian, PUPR, dan Bappenas, agar infrastruktur, pendampingan, dan penganggaran berjalan secara terpadu.

5. **Monitoring dan Evaluasi Adaptif**

Setelah pembangunan, perlu dirancang sistem **monitoring berkala** terhadap curah hujan, debit sungai, muka air tanah, serta performa infrastruktur untuk evaluasi dan penyesuaian operasional lapangan.

5.3 Roadmap Implementasi Kajian Hidrologi untuk Mendukung CSR

| Tahap Waktu | Kegiatan Utama | Output | Keterangan |
|--|--|---|--|
| 0–6 bulan (pra-implementasi) | <ul style="list-style-type: none"> - Survei topografi detail (DEM resolusi tinggi) - Pengumpulan data muka air tanah - Survei air tanah (geolistrik & pengeboran uji) | Peta kemiringan lahan, potensi airtanah, lokasi strategis embung dan drainase | Dasar teknis untuk desain sistem irigasi dan drainase |
| 6–12 bulan (desain dan integrasi sistem) | <ul style="list-style-type: none"> - Pemodelan hidraulik dan genangan - Desain rinci infrastruktur air (saluran, pintu air, embung) - Penyusunan dokumen teknis terintegrasi (DDED) | Model aliran dan skenario pengendalian genangan, desain infrastruktur | Disertai analisis biaya-manfaat dan risiko |
| Tahun 2 (konstruksi & pelatihan) | <ul style="list-style-type: none"> - Pembangunan sistem irigasi & drainase - Pembuatan embung/kolam retensi - Pelatihan kelompok tani dalam pengelolaan air | Infrastruktur air fungsional dan petani terlatih | Didampingi teknisi lokal dan penyuluh lapangan |
| Tahun 3 dan seterusnya (operasional dan adaptasi) | <ul style="list-style-type: none"> - Monitoring debit, muka air, dan curah hujan - Evaluasi performa sistem - Adaptasi sistem berdasarkan musim dan kondisi iklim | Sistem operasional berbasis data Penyesuaian desain atau pola tanam | Dukung oleh teknologi digital monitoring jika memungkinkan |

5.4 Matriks Prioritas Kegiatan Tindak Lanjut

| Kegiatan | Urgensi | Dampak | Prioritas | Penanggung Jawab | Keterangan |
|--|---------|--------|-----------|---------------------------------------|---|
| Survei topografi dan pemutakhiran DEM | Tinggi | Tinggi | 1 | Tim Teknis SID / Konsultan | Dasar semua perencanaan teknis |
| Kajian potensi air tanah | Tinggi | Tinggi | 2 | Tim hidrogeologi / BBWS | Alternatif sumber air saat kemarau |
| Simulasi hidraulik dan banjir | Tinggi | Sedang | 3 | Konsultan hidrologi | Untuk desain saluran dan pintu air |
| Pemetaan kesesuaian lahan spasial | Sedang | Tinggi | 4 | Tim GIS / Lembaga riset | Menentukan zona produksi utama |
| Desain sistem irigasi dan drainase | Tinggi | Tinggi | 5 | Konsultan perencanaan | Berdasarkan hasil analisis semua faktor |
| Pelatihan pengelolaan air untuk petani | Sedang | Tinggi | 6 | Dinas Pertanian / Pendamping lapangan | Menjamin keberlanjutan operasional |
| Sistem monitoring curah hujan dan GWL | Sedang | Tinggi | 7 | Dinas SDA / Akademisi | Untuk penyesuaian pola tanam |
| Kolaborasi antar lembaga pemerintah | Tinggi | Tinggi | 8 | Pemerintah daerah / pusat | Untuk sinergi program & pendanaan |

Bibliografi

- [Cambodia et al., 2023] Cambodia, M., Juwita, F., Gunawan, T., Novilyansa, E., and Audina, S. (2023). Analisis debit banjir rancangan menggunakan metode snyder dan soil conservation service (scs)(studi kasus: Daerah aliran sungai (das) way lunik). *JTS Saburai: Jurnal Teknik Sipil Saburai*, 1(01):19–34.
- [Gumelar et al., 2020] Gumelar, Y. P., Erwanto, Z., and Wijanarko, A. (2020). The simulation of return period design flood at kg2 setail storage planning in yosomulyo village gambiran sub district banyuwangi. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 1(1):30–42.
- [Hamzani, 2022] Hamzani, H. (2022). Analisa banjir periode ulang sungai kru-eng leubu kecamatan makmur kabupaten bireun. *TECHSI-Jurnal Teknik Informatika*, 12(3):31–35.
- [Muda et al., 2022] Muda, S. I., Gunawan, R., Diva, S. D. T., et al. (2022). Analisis perhitungan debit banjir rencana di bendung karet bandar sidoras. *Jurnal Vorteks*, 3(1):190–198.
- [Wangsa and Padilla, 2023] Wangsa, A. A. R. R. and Padilla, P. M. D. (2023). Analisis debit banjir rancangan untuk normalisasi saluran drainase dan desain dinding penahan tanah di daerah sekitar sungai ephemeral. *Ganec Swara*, 17(1):300–308.